

5. QUI DISPOSE DE PLUS DE PUISSANCE DE CALCUL AUJOURD'HUI : LES MILITAIRES, LES PROPRIÉTAIRES DE PC OU LES ENFANTS ?



La puissance cumulée des 500 plus grosses machines actuelles est évaluée à 88 TFLOPS, ce qui donne environ 10^{15} instructions par seconde, qu'on peut en gros considérer comme la puissance dont disposent les militaires aujourd'hui. La puissance cumulée des PC (cinq cents millions de machines ayant une puissance moyenne d'environ

2×10^8 instructions par seconde) est plus de cent fois supérieure (10^{17}). Même les enfants avec leurs consoles de jeux battent les militaires. En effet, les consoles de jeux se vendent par dizaines de millions – 76 millions d'exemplaires de la *Playstation* première génération de *Sony* – et disposent d'une puissance de calcul cumulée du même ordre de grandeur que celle de tous les micro-ordinateurs du monde. À vrai dire, les données qui permettraient de départager les ordinateurs personnels des consoles de jeux ne sont pas disponibles avec assez de précision (ce qui, de toutes les façons, ne permettrait pas une conclusion très intéressante, puisque de nombreux PC sont utilisés... comme console de jeux!)

En comptabilisant tous les ordinateurs petits et moyens, tous les microprocesseurs (dans les téléphones portables, les machines à laver, etc.), on peut sommairement évaluer qu'aujourd'hui l'humanité dispose d'une puissance de calcul électronique de 10^{18} instructions par seconde, ce qui dépasse sans doute la puissance de calcul du cerveau humain (rappelons la fourchette 10^{13} – 10^{19} proposée pour évaluer cette puissance).

En définitive, sur une longue période, on ne peut éviter d'avoir recours aux unités de mesure. Comme aucune méthode ne définit d'unités précises et fiables, il faut se contenter de mesures assez vagues. Cela n'est pas très grave, car dans un univers en croissance exponentielle comme celui de l'informatique, une incertitude d'un facteur dix, voire cent, correspond à une courte période de temps et ne compromet pas l'analyse générale.

Une opération élémentaire de calcul devrait en toute logique correspondre à une opération binaire élémentaire comme le calcul d'un OU ou d'un ET entre deux données binaires : «0 ou 1 = 1», «1 et 0 = 0», etc. Le plus souvent, on désigne par opération élémentaire (ou instruction élémentaire, ou calcul élémentaire) une manipulation (copie, transfert, duplication, etc.) d'un mot de l'ordinateur auquel on s'intéresse, mot comportant plusieurs informations binaires. Selon la longueur du mot (qui change d'un ordinateur à l'autre), une instruction équivaut donc à un nombre d'opérations binaires élémentaires compris entre 10 et 100, voire plus. Toutes sortes d'autres raisons rendent impossible la définition d'une mesure universelle précise et fiable de l'unité de calcul,

et il faut se contenter de mesures approximatives pour suivre le progrès des ordinateurs sur le long terme. L'unité instruction, aussi imparfaite soit-elle, est cependant le moins mauvais outil de comparaison qui existe, et c'est lui qu'on retient en général.

L'instruction donne naissance à l'unité de puissance IPS (instruction per second), qui conduit à l'unité la plus souvent mentionnée aujourd'hui, le MIPS : million d'instructions par seconde. Cependant cette unité est tellement manipulée commercialement que certains en plaisantent et disent que MIPS signifie *Meaningless Indicator of Performance for Salesmen* (indicateur de performance sans signification pour commerciaux).

Le prix des machines informatiques pouvant varier considérablement, une étude sérieuse se devait d'en tenir le plus grand compte : c'est pourquoi finalement Ray Kurzweil a adopté dans son étude futuriste l'unité «instruction par seconde pour 1 \$». Il constate une évolution allant de 10^{-8} en 1900 à 10^5 en 2000, soit une augmentation de puissance – pour une somme donnée – d'un facteur 10^{13} , ce qui correspond à un accroissement moyen de 35 pour cent par an, équivalant à un doublement tous les 2,4 ans.

Au cours du XX^e siècle, une multitude de technologies de calcul ont défilé : machines mécaniques (à base d'engrenages et de tringles métalliques), puis machines électromécaniques (assemblage d'interrupteurs commandés par électroaimants – appelés «relais» – et connectés), puis machines électroniques (construites avec des kilomètres de fils et des milliers de lampes), puis machines à transistors isolés (fichés individuellement sur des cartes), et enfin machines à circuits intégrés (comportant des transistors dessinés simultanément par lithographie optique par centaines, puis par millions).

Les transitions technologiques se sont non seulement faites à chaque fois que cela a été nécessaire, sans que jamais la capacité de calcul ne stagne, mais, en fait, les transitions ont conduit à un progrès qui s'est légèrement accéléré, passant d'un doublement de performances tous les trois ans au début du XX^e siècle, à un doublement tous les ans aujourd'hui.

LA SINGULARITÉ ?

Comparée à l'analyse sur tout le XX^e siècle, la période de 1965 à 2000 que couvre la loi de Moore, n'est donc pas exceptionnelle et, bien au contraire, se conforme à une loi plus générale que l'on peut imaginer valable encore au XXI^e siècle.

L'augmentation des performances de calcul saute par-dessus les transitions technologiques et produit des doublements de performances à intervalles de plus en plus rapprochés. Reste que la diminution du temps nécessaire à un doublement nous amène à nous interroger. La variation de la performance en fonction du temps t ne serait pas une exponentielle de la forme a^t , mais une courbe à croissance superexponentielle, par exemple t^t , ou même une courbe à asymptote verticale en $1/(s-t)$ (lorsque t s'approche de s , la singularité, $1/(s-t)$ tend vers l'infini).

L'hypothèse de la courbe superexponentielle conduit à imaginer un futur où non seulement le progrès se poursuit, mais s'accélère sans cesse, de nouvelles technologies prenant le relais de celles qui, épuisées, ne produisent plus de puissance nouvelle.

Si, comme le pensent certains experts, quantité de problèmes informatiques que chacun rencontre (instabilité des systèmes d'exploitation et des programmes, incompatibilités des logiciels les uns avec les autres ou avec les matériels utilisés, complexité mal maîtrisée à tous les niveaux, etc.) proviennent de la rapidité trop grande des

changements, alors il faut s'attendre à ce que tout empire ; les utilisateurs d'ordinateurs risquent de rencontrer des ennuis de toutes sortes dus aux défaillances et aux caprices de leurs outils, «en progrès» accélérés, mais de moins en moins contrôlés.

Cependant l'hypothèse de la courbe superexponentielle n'est rien à côté de l'hypothèse de la courbe à asymptote verticale (la courbe hyperbolique de la figure 3), car celle-ci signifie que nous approchons d'un instant où le progrès deviendra infini, ce qui bien sûr est matériellement impossible et implique un changement radical avant l'instant s de la singularité. Ce changement radical a été théorisé par Vernor Vinge, du Département de mathématiques de l'Université de San Diego, en 1993. V. Vinge écrit : «Je défends l'idée que nous sommes tout proches d'un changement comparable à l'apparition de la vie humaine sur Terre. La cause précise de ce changement est la création imminente, par notre technologie, d'entités possédant une intelligence plus grande que celle des humains.»

D'autres textes prophétiques ont depuis lors repris l'idée de la singularité créée par l'explosion de la courbe du progrès informatique provoquant ou provoqué par (tout n'est pas très clair !) l'apparition d'intelligences supérieures à celle de l'homme. Bien sûr, rien n'est établi de manière définitive, et il s'agit de spéculations comme la science-fiction les aime depuis longtemps (V. Vinge est d'ailleurs auteur de livres de science-fiction). Certains arguments numériques sont cependant intéressants à examiner et pourront peut-être vous troubler.

L'argument le plus amusant est, sans aucun doute, la comparaison de la puissance de calcul d'un cerveau humain avec la puissance de calcul informatique calculée avec la loi de Moore simplement prolongée (sans même prendre en considération un éventuel raccourcissement de la période de doublement de performances).

CAPACITÉ DE CALCULS DES CERVEAUX

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour mesurer la puissance de calcul d'un cerveau humain, et ont donné lieu à de nombreuses dissertations conduisant à une estimation qui oscille entre 10^{13} et 10^{19} instructions par seconde. Cette grande imprécision ne fait que refléter l'ignorance où nous sommes encore aujourd'hui quant au fonctionnement détaillé du cerveau humain et illustre la difficulté qu'il y a à comparer des puces électroniques et des neurones.

Du côté des machines, le plus puissant ordinateur du monde aujourd'hui, est un ordinateur IBM destiné à la simulation d'essais atomiques au *Lawrence Livermore Laboratory* en Californie, aux États-Unis. Il dispose d'une puissance d'environ 10^{13} instructions par seconde.

La plus puissante machine, avec ses 10^{13} instructions par seconde, en est donc précisément arrivée aux estimations basses de puissance du cerveau humain. Si le rythme du progrès se maintient, en 2015, l'ordinateur le plus puissant du monde atteindra 10^{16} instructions par seconde et, en 2030, 10^{19} instructions par seconde correspondant à l'estimation la plus haute proposée pour la puissance du cerveau humain qui serait ainsi, selon toute vraisemblance, largement dépassée à cette date. Quelques années de plus, et ce seront les ordinateurs personnels qui atteindront la puissance du cerveau, avant les téléphones portables quelques mois plus tard !

Ray Kurzweil de son côté évalue avec plus de précision (mais en prenant sans doute plus de risques) qu'un ordinateur de 1 000 \$ atteindra la puissance du cerveau humain en 2030 (et atteindra la puissance de tous les cerveaux humains réunis en 2060).

Tout semble assez cohérent, et c'est là une grande nouvelle : pour ce qui est de la puissance de calcul, l'espèce humaine est entrée dans l'ère où elle construit des machines égalant ses propres capacités. Aurons-nous pour autant des machines intelligentes ?

L'INTELLIGENCE N'EST-ELLE QUE DU CALCUL ?

Ce n'est pas sûr du tout. En effet il ne suffit pas d'avoir à sa disposition une grande puissance de calcul pour obtenir de l'intelligence... ce serait bien trop simple.

En voici la preuve. En connectant par le réseau internet les cent millions d'ordinateurs de bureau vendus en l'an 2000, nous disposons déjà d'une sorte de gros ordinateur d'une puissance de calcul de 10^{16} instructions par seconde (les ordinateurs de bureau vendus aujourd'hui ont une puissance dépassant 10^8 instructions par seconde, $5 \cdot 10^8$ même pour les plus récents). Parce que les échanges entre les diverses parties de cet «ordinateur à l'échelle de la Terre» sont trop lents et parce qu'aucun programme ne tente d'utiliser cette puissance pour produire de l'intelligence, ce mastodonte reste essentiellement idiot, bien qu'il dispose sans doute de la puissance d'un cerveau humain.

L'idée un peu trop simple qu'imiter l'intelligence n'est qu'une question matérielle et technique n'est pas nouvelle. En 1950, le célèbre mathématicien anglais Alan Turing prédisait qu'en l'an 2000, avec un ordinateur disposant d'une mémoire d'un milliard de chiffres binaires (pour lui semble-t-il, plus importante que la puissance de calcul et aujourd'hui largement dépassée), nous obtiendrions une machine imitant assez correctement le comportement humain. Cela n'est pas le cas : la «machine de Turing est encore assez bête». Plus proche de nous, Herbert Simon prévoyait, en 1965, qu'en 1985 les machines seraient capables de faire n'importe quel travail qu'un homme réalise. Là encore, la prédiction était trop optimiste.

Le débat sur l'intelligence artificielle, qui a déjà fait couler beaucoup d'encre, n'est donc pas clos. Il entre cependant dans une nouvelle phase. La charge de la preuve – qui était dans le camp des anti-IA, car à défaut de machines puissantes c'était à eux d'argumenter qu'on ne pourrait rien en faire – change de côté, et maintenant qu'une puissance comparable à celle du cerveau est disponible (ou sur le point de l'être), l'échec des tentatives pour rendre intelligentes nos machines prend une nouvelle signification. Les années qui viennent seront déterminantes.

Jean-Paul DELAHAYE est professeur à l'Université de Lille : delahaye@lil.fr

G. HERMAN, *Benchmarking the Benchmarks*, 1996 : <http://163.18.14.55/datapro/12006-1.htm>

(sur la difficulté de la mesure de la puissance de calcul des ordinateurs)

D. HUTCHESON et J. HUTCHESON, *Le futur de la micro-électronique, Pour la Science*, pp. 50-56, mars 1996.

R. KURZWEIL, *The Age of Spiritual Machines : When Computer Exceed Human Intelligence*, Penguin Book, New York 1999.

R. MERKLE, *Energy Limits to the Computational Power of the Human Brain* : <http://www.merkle.com/brainLimits.html>

H. MORAVEC, *Mind Children. The Futur of Robot and Human Intelligence*, Harvard University Press, Cambridge, 1988.

V. VINGE, *On the singularity. VISION-21 Symposium sponsored by NASA Lewis Research Center and the Ohio Aerospace Institute, March 30-31, 1993* : www.ugcs.caltech.edu/~phoenix/vinge/vinge-sing.html

D. YANG, *On Moore's Law and Fishing. Gordon Moore speaks out, U.S. News 7-10-2000* : <http://www.usnews.com/usnews/transcripts/moore.htm>